



APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO EN EL ESTUDIO DE LA MINERALOGÍA DE LA FRACCIÓN ARENA DE SUELOS DE LA PAMPA ONDULADA.

Morrás, H.^{1*}, E. Bressan¹

¹Instituto de Suelos, CIRN – INTA, Las Cabañas y N. Repetto, (1686) Hurlingham, Prov. de Buenos Aires; * morras.hector@inta.gob.ar; hmorras@gmail.com

RESUMEN: El material parental de los suelos pampeanos está constituido por sedimentos loésicos. Si bien durante largo tiempo se consideró que estos materiales tenían una cierta uniformidad de origen y composición, diversos trabajos han mostrado un escenario más complejo. En el presente trabajo se analiza la mineralogía de las fracciones liviana y pesada de la arena de doce perfiles de suelo representativos de diez combinaciones o "modelos" mineralógicos localizados en la Pampa Ondulada y sectores próximos de otras unidades geomorfológicas. Los minerales de la FL considerados han sido cuarzo, vidrio volcánico, plagioclasas, feldspatos y fragmentos líticos, en tanto de la FP se consideraron % de pesados, magnetita, piroxenos, anfíboles y micas. Los datos se analizaron mediante una representación gráfica que permite apreciar las variaciones mineralógicas entre horizontes y entre perfiles, y el análisis estadístico se realizó aplicando el método de Componentes Principales. Los resultados evidencian que los suelos del norte de la Pampa Ondulada contienen una mayor proporción de micas y anfíboles, en tanto en la Pampa Ondulada Baja, la Pampa Arenosa y la Pampa Deprimida se caracterizan por la abundancia de piroxenos y de fragmentos líticos. Por otro lado en la franja vecina al eje fluvial Paraná-Río de la Plata se encuentra una mayor proporción de cuarzo y menor contenido de minerales pesados. El vidrio volcánico aparece en proporciones contrastantes tanto entre horizontes como entre perfiles aún próximos entre sí. Estos resultados confirman la existencia de contribuciones significativas de rocas ígneas y metamórficas de las Sierras Pampeanas hacia el norte de la región estudiada y de las cuencas del Paraná y Uruguay hacia el este, en tanto en el sector meridional dominan efectivamente los aportes volcanoclasticos de origen andino. Por otro lado, la heterogeneidad mineralógica de los perfiles indica que los horizontes C no representan exactamente la composición del material parental de estos suelos pampeanos.

PALABRAS CLAVE: loess, arena, mineralogía.

INTRODUCCION

El material parental de los suelos de la Región Pampeana se halla constituido por sedimentos loésicos depositados durante el Pleistoceno tardío-Holoceno. Siguiendo el criterio inicial de un área fuente casi exclusiva localizada en el norte de la Patagonia y el oeste del país (Teruggi, 1957) durante largo tiempo se consideró que estos sedimentos eran mineralógicamente homogéneos. Sin embargo, un número considerable de estudios sobre la fracción arena de sedimentos y suelos de distintos ámbitos pampeanos y chaqueños han demostrado la existencia de diversas fuentes y procesos de aporte en la formación de la masa sedimentaria (e.g. González Bonorino, 1965; Bertoldi de Pomar, 1969; Morrás y Delaune, 1985; Zárate y Blasi, 1993; Etchichury y Tofalo, 2004).

Así, un primer análisis de datos composicionales de la arena de horizontes C y BC de perfiles de suelo de la Pampa Ondulada y sectores proximales permitió observar variaciones espaciales, que condujeron a delimitar tres áreas mineralógicamente diferenciadas (Morrás 2003). En una nueva etapa (Morrás, 2020) se analizó la variación vertical y espacial de una mayor cantidad de minerales de la arena de todos los horizontes de 67 perfiles de suelo de ese mismo sector de la Pampa Norte. El análisis detallado de los datos permitió constatar la

Organizado por:

1366



existencia de diversas combinaciones en la composición mineralógica de la arena. De este modo se identificaron 10 tipos de perfiles o “modelos mineralógicos” caracterizados por la diferente distribución vertical de minerales mayoritarios y/o significativos por su proveniencia. Por otro lado, la distribución y asociación espacial de los “modelos mineralógicos” permitió ya distinguir en esta nueva etapa de análisis la existencia de siete “zonas mineralógicas” en el área estudiada.

En consecuencia, el propósito del presente trabajo es complementar los análisis ya realizados sobre la mineralogía de la fracción arena de los suelos de la Pampa Ondulada, mediante la evaluación de otros minerales y la aplicación de otras herramientas de análisis estadístico que permitan refinar los resultados e interpretaciones sobre la distribución y procedencia de los sedimentos que constituyen su material parental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los datos mineralógicos de las fracciones liviana (FL) y pesada (FP) de la arena de los perfiles de suelo seleccionados como representativos de diez combinaciones composicionales o “modelos mineralógicos”, encontradas en la arena de los suelos de la Pampa Ondulada y sectores proximales de otras unidades geomorfológicas (Pampa Llana Santafesina, Pampa Deprimida y Pampa Arenosa) (Morrás, 2020). En dos de estas combinaciones (los modelos 1 y 2) se identificaron diferencias significativas en alguno de los componentes que llevaron a identificar variantes (1a y 1b; 2a y 2b), por lo cual es doce el número total de perfiles de suelo evaluados. La mayor parte de estos perfiles de suelo son Molisoles, en tanto otros corresponden a los órdenes Vertisol y Alfisol, y su localización geográfica se muestra en la Figura 1.

Los minerales de la FL considerados en el análisis han sido cuarzo, vidrio volcánico, plagioclasas, feldespatos y fragmentos líticos, en tanto de la FP se consideraron % de pesados, piroxenos, anfíboles y micas. En el presente trabajo entre estos últimos se ha incluido también la magnetita. Para el análisis de los datos se ha utilizado en primer lugar un tipo de representación gráfica que permite apreciar las variaciones mineralógicas entre distintos horizontes de cada perfil, así como también las diferencias entre perfiles. Dado que los perfiles se han yuxtapuesto con sentido aproximado norte-sur, los gráficos permiten apreciar también las variaciones mineralógicas espaciales en la región estudiada. Por otro lado se realizó el análisis estadístico mediante la utilización del método de Componentes Principales. Este método permite la representación en dos dimensiones de las combinaciones lineales entre las variables estudiadas, permitiendo encontrar agrupamientos entre los individuos analizados. Estos análisis fueron realizados mediante el programa Infostat /P v1.1, 2002.

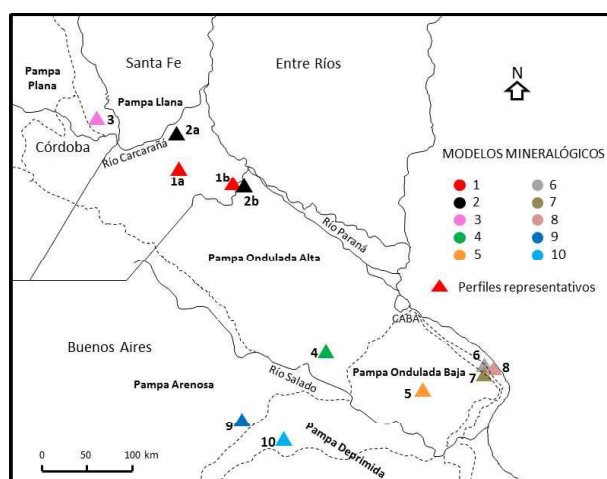


Figura 1. Localización de los perfiles representativos de los “modelos mineralógicos” identificados en la Pampa Ondulada y en sectores proximales de otras unidades geomorfológicas (modificado de Morrás, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSION

Una característica distintiva de los sedimentos loésicos pampeanos respecto a los loess de otras regiones del mundo es la predominancia de componentes volcánoclasticos (Teruggi, 1957). Tomando por este motivo al vidrio volcánico como primer elemento de análisis, la representación de los datos cuantitativos en la Figura 2 permite apreciar marcadas variaciones entre los horizontes de cada perfil de suelo. Así resaltan particularmente los picos en la base de los perfiles del “modelo” 1 (en sus variantes 1a y 1b) y del “modelo” 4. También, aunque menos marcado, ese aumento de vitroclastos con la profundidad se aprecia en el perfil del “modelo” 10 en la Pampa Arenosa. Por otro lado, en este gráfico se puede apreciar también el contraste espacial en la proporción de vidrio entre los “modelos” 1 y 2 situados al este de la Pampa Ondulada Alta respecto a los “modelos” 3 y 4 situados al oeste (ver Figura 1). Del mismo modo se aprecian las diferencias entre estos “modelos” situados al norte de la región estudiada respecto a aquellos situados hacia el sur (“modelos” 5 a 10) en la Pampa Ondulada Baja, en la Pampa Deprimida y en la Pampa Arenosa.

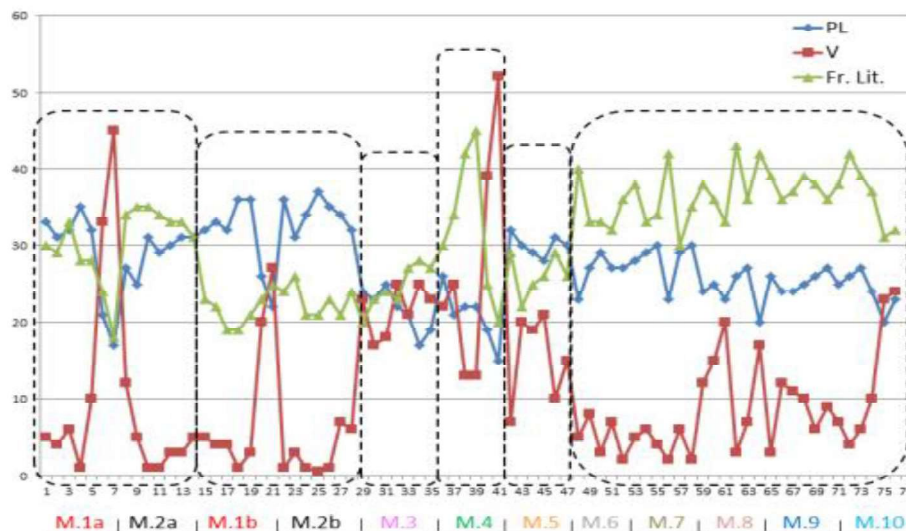


Figura 2. Variación intra- e inter-perfil de los principales constituyentes de la fracción liviana (% de vidrio volcánico, plagioclasas y fragmentos líticos) en los perfiles de suelo representativos. En la abscisa, perfiles representativos de los Modelos mineralógicos y sus correspondientes horizontes identificados con números sucesivos. Las líneas de trazo agrupan perfiles permitiendo distinguir subconjuntos mineralógicos en la región estudiada.

En cuanto a las plagioclasas, el contenido medio en el conjunto de la región estudiada es de aproximadamente un 25%, aunque con claras diferencias entre distintos sectores. Las plagioclasas serían derivadas de aportes epiclasticos y piroclásticos de origen volcánico (Teruggi, 1957; González Bonorino, 1965). Sin embargo, puede aquí apreciarse una relación inversa con el vidrio volcánico, la que aquí aparece más marcada en los “modelos” 1 y 2 de la Pampa Ondulada Alta. Estos resultados sugieren que al menos una parte de las plagioclasas tendrían otras rocas como fuente de origen.

En la arena de los perfiles de suelo aquí estudiados, los fragmentos líticos son en general el constituyente más abundante de la FL, con un contenido medio aproximado de 30%. Estos litoclastos, opacados por alteración e impregnación de óxidos de hierro, han sido identificados como fragmentos pequeños de pastas volcánicas y como muy característicos de los sedimentos loésicos pampeanos (Teruggi, 1957). Sin embargo, los datos aquí presentados ponen de relieve relaciones diversas entre vidrio volcánico, plagioclasas y fragmentos líticos, tanto a nivel regional como en el interior de los perfiles.

En cuanto a la fracción pesada de la arena, ésta se encuentra constituida por una amplia variedad de minerales, aunque unas pocas especies –pertenecientes particularmente a los grupos de piroxenos, anfíboles, y minerales opacos- constituyen la proporción mayoritaria de la fracción. En la mayor parte de la región estudiada el porcentaje total de minerales pesados es relativamente reducido (en promedio inferior a 1%), con la excepción del “modelo” 9 localizado en la Pampa Arenosa, en el que algunos horizontes del perfil alcanzan entre 7 y 12% de la FP.

Diversos trabajos han mencionado que en los sedimentos pampeanos los piroxenos derivan de vulcanitas dado que algunos granos presentan restos de vidrio adherido, así como por el hecho que las rocas plutónicas piroxénicas son escasas en la Argentina (Teruggi, 1957; Bertoldi de Pomar, 1969; Etchichury y Tofalo, 2004). En este sentido, al comparar las Figuras 2 y 3 se puede apreciar una relación directa entre los contenidos de vidrio volcánico y piroxenos en los perfiles de los modelos 1 y 2, en tanto para los modelos 3 y 4 la relación entre ambos componentes es menor. Por el contrario, para los suelos situados en el sector meridional de la región estudiada (modelos 5, 6, 7, 8, 9 y 10), además del incremento notorio del contenido de piroxenos en la FP, la relación entre éstos y el vidrio es débil a nula.

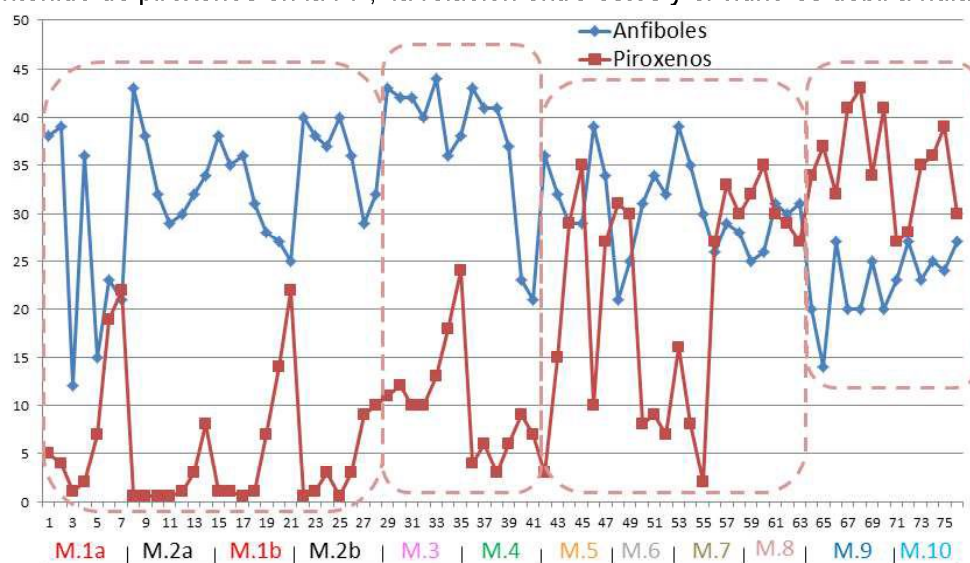


Figura 3. Comparación de las variaciones intra- e inter-perfil de piroxenos y anfíboles. Las líneas de trazo agrupan perfiles con similitud mineralógica y asociados espacialmente.

En cuanto a los anfíboles, entre los cuales la hornblenda común es mayoritaria, Teruggi (1957) expresó que “si bien es difícil establecer la roca madre de los anfíboles en los sedimentos pampeanos, se estima que estos proceden de vulcanitas”. Por este motivo es interesante comparar la proporción de anfíboles con las de otros minerales de filiación volcánica. Así, tomando el conjunto de datos estudiados se observa una definida relación inversa entre los contenidos de anfíboles y piroxenos. Sin embargo, al sectorizar los datos según los perfiles y las zonas en que se localizan, se pueden apreciar diferencias en el grado de correlación negativa entre ambos minerales.

En los modelos 1 y 2 de la Pampa Ondulada Alta el contenido de anfíboles es elevado; al mismo tiempo en estos suelos –y salvo los incrementos en los horizontes profundos- se observan los valores mínimos de piroxenos de toda la región. Los modelos 3 y 4 se asemejan a los anteriores pero se caracterizan por ligeros incrementos tanto en los porcentajes de piroxenos como de anfíboles. Un sector claramente contrastante es el representado por los modelos mineralógicos 9 y 10 localizados al suroeste del Río Salado, donde disminuyen los anfíboles y la proporción de piroxenos es máxima. Finalmente, los suelos de los modelos 5, 6, 7 y 8 característicos de la Pampa Ondulada Baja y de la zona litoral, presentan una situación intermedia y más heterogénea que las anteriores.

Otros dos minerales de la FP de la arena resultan indicadores interesantes. Por un lado las micas se presentan en porcentajes relativamente elevados (valor medio 8%) en suelos del norte de la Pampa Ondulada Alta, en las provincias de Santa Fe y Córdoba. En el resto de esta misma región predominan valores reducidos, entre trazas y 3%. Por el contrario en el límite entre la Pampa Deprimida y la Pampa Arenosa las micas suelen estar ausentes. También en algunos perfiles de la zona litoral se observa la escasa proporción o la ausencia de micas. Por otro lado, el análisis de la distribución de la magnetita nos dice que el contenido medio en las muestras consideradas es de alrededor del 20%. Sin embargo los contenidos son menores y más homogéneos en los “modelos” 1, 2 y 3 de la Pampa Ondulada Alta. En los otros perfiles la variabilidad entre horizontes se incrementa, en tanto los mayores porcentajes de magnetita se observan en los “modelos” 6 y 7 de la zona litoral y 10 de la Pampa Arenosa.

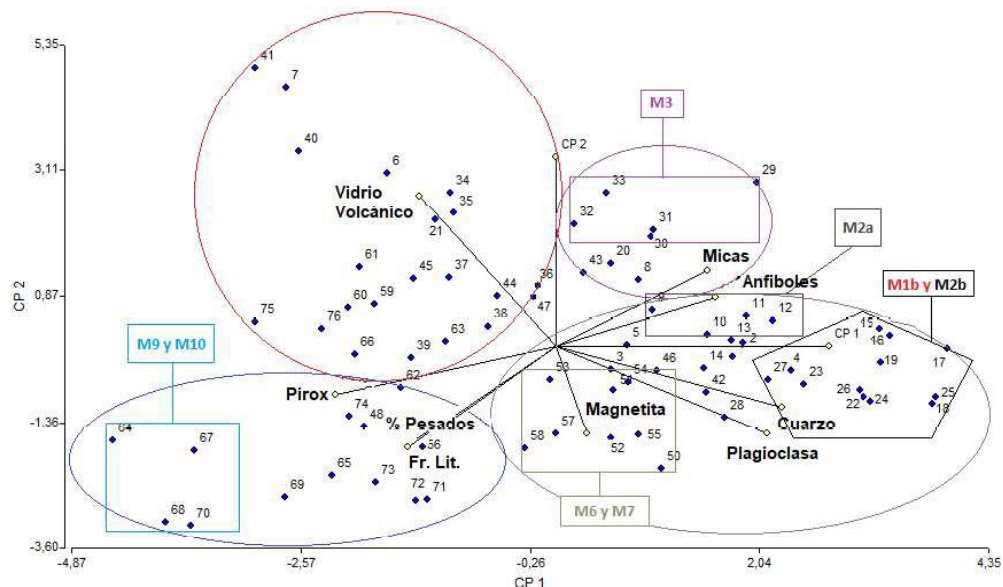


Figura 4. Gráfico de Componentes Principales de la fracción arena de los perfiles “modelo”.

El procesamiento de los datos mediante la aplicación del Análisis de Componentes Principales confirma las observaciones anteriores. Así, la Figura 4 muestra que en el eje CP1 el 59 % de la variabilidad se encuentra principalmente representada por el contenido de cuarzo, plagioclasas, micas, anfíboles y magnetita. En cambio en el eje CP2 la variabilidad está representada por el contenido de vidrio volcánico, piroxenos, % de pesados y fragmentos líticos. Este gráfico permite observar el agrupamiento de los materiales en cuatro conjuntos diferenciados, lo que puede validarse por los coeficientes de correlación Pearson entre las variables analizadas. En el círculo de color rojo se agrupan los horizontes con mayor contenido de vidrio volcánico, correspondientes a distintos perfiles de la región. En el cuadrante inferior izquierdo se encuentran los horizontes con mayor contenido de piroxenos, fragmentos líticos y % de pesados, agrupándose aquí los correspondientes a los modelos M9 y M10. En el cuadrante superior derecho se agrupan los horizontes caracterizados por el mayor contenido de micas, individualizándose el modelo M3 localizado en el noroeste de la Pampa Ondulada. Finalmente en el sector inferior derecho se pueden individualizar subconjuntos correspondientes a distintos modelos mineralógicos. Aparecen allí horizontes de los modelos M1b y M2b caracterizados por la asociación de cuarzo y plagioclasas. Con una mineralogía similar pero con un mayor contenido de anfíboles, se presenta otro subconjunto de horizontes correspondientes al modelo M2a. Finalmente, el gráfico permite individualizar un grupo constituido por horizontes de los perfiles M6 y M7 localizados en el sector litoral de la Pampa Deprimida, de composición intermedia entre otros grupos y en el que la magnetita es relativamente abundante.

CONCLUSIONES

El estudio de la fracción arena de suelos de la Pampa Ondulada y sectores proximales ha puesto de relieve la existencia de distintas combinaciones mineralógicas entre diversos horizontes de los perfiles. La distribución espacial de esos “modelos mineralógicos” ha posibilitado también establecer la existencia de “zonas mineralógicas” (Morrás, 2020). El análisis estadístico de datos de las fracciones liviana y pesada de la arena mediante el método de Componentes Principales permite aquí confirmar esas interpretaciones. Así, en el sector norte de la Pampa Ondulada los suelos contienen una mayor proporción de micas y anfíboles. Por el contrario, el sector meridional de la región estudiada (Pampa Ondulada Baja, Pampa Arenosa y Pampa Deprimida) se caracteriza por la abundancia de piroxenos y de fragmentos líticos. Por su parte la franja central de la Pampa Ondulada, resulta transicional entre las dos anteriores. También, y en coincidencia con estudios previos (Morrás, 2003; 2020) la ubicación de los “modelos” M1 y M2 en el gráfico de CP permite individualizar en este sector intermedio una franja vecina al eje fluvial Paraná-Río de la Plata caracterizada por una mayor proporción de cuarzo y menor contenido de minerales pesados. El vidrio volcánico por su parte aparece en proporciones contrastantes tanto entre horizontes de un mismo perfil como entre perfiles diferentes, incluso próximos entre sí.

Estas diferentes asociaciones minerales muestran una distribución espacial que confirma la existencia de contribuciones variables pero significativas de rocas ígneas y metamórficas en la composición de los sedimentos loésicos de la región estudiada, notoriamente de las Sierras Pampeanas hacia el norte de la región y de las cuencas del Paraná y Uruguay hacia el este, en tanto en el sector meridional dominan efectivamente los aportes volcánoclasticos de origen andino. Estos resultados evidencian que los sedimentos superficiales de la Pampa Ondulada y áreas proximales constituyen una zona de transición entre la Pampa Sur y la Pampa Norte. Por otro lado, resulta significativa la heterogeneidad mineralógica vertical en casi todos los perfiles analizados. De este modo se evidencia que la mineralogía de los horizontes C no representa exactamente la composición del material parental de estos suelos, lo que implica la necesidad de análisis mineralógicos detallados en el estudio de los factores de formación y de los procesos pedogenéticos de los suelos pampeanos.

BIBLIOGRAFIA

- Bertoldi de Pomar, H. 1969. Notas preliminares sobre la distribución de minerales edafógenos en la Provincia de Santa Fe. Quinta Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Actas: 716-726, Santa Fe.
- Etchichury, M & O Tófaló. 2004. Mineralogía de arenas y limos de suelos, sedimentos fluviales y eólicos actuales del sector austral de la cuenca Chacoparanense. Regionalización y áreas de aporte. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59(2):317-329.
- González Bonorino, F. 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del pampeano en el área de la ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. Revista de la Asociación Geológica Argentina, XX (1): 67-148.
- Morrás, H. 2003. Distribución y origen de los sedimentos superficiales de la Pampa Norte en base a la mineralogía de arenas. Resultados preliminares. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología, 10(1):53-64.
- Morrás, H. 2020. Modelos composicionales y áreas de distribución de los aportes volcánicos en los suelos de la Pampa Norte (Argentina) en base a la mineralogía de arenas. En: Imbellone, P & O Barbosa (eds.). Suelos y Vulcanismo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Buenos Aires (libro digital, en edición).
- Morrás, H & M Delaune, 1985. Caracterización de áreas sedimentarias del norte de la Provincia de Santa Fe en base a la composición mineralógica de la fracción arena. Ciencia del Suelo, 3 (1-2): 140-151
- Teruggi, M. 1957. The nature and origin of Argentine loess. Journal of Sedimentary Petrology, 27: 322-332.
- Zárate, M & A Blasi, 1993. Late Pleistocene-Holocene eolian deposits of the southern Buenos Aires Province, Argentina: a preliminary model. Quaternary International, 17: 15-20.